

## BEST AVAILABLE COPY

(8)

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-141950  
(43)Date of publication of application : 25.05.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/122  
G02B 6/13

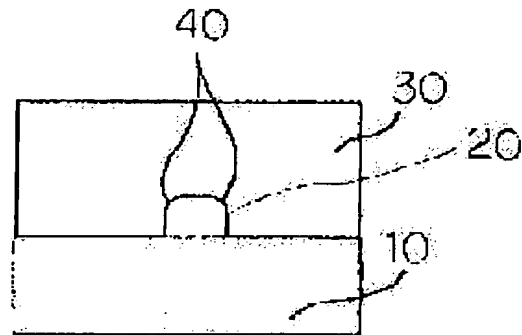
(21)Application number : 2000-142316 (71)Applicant : HITACHI CABLE LTD  
(22)Date of filing : 10.05.2000 (72)Inventor : OKUBO HIROYUKI  
OKANO HIROAKI  
KASHIMURA SEIICHI  
KITANO NOBUAKI

(30)Priority  
Priority number : 11248966 Priority date : 02.09.1999 Priority country : JP

**(54) OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS MANUFACTURING METHOD****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical waveguide and its manufacturing method capable of forming a clad film having excellent characteristics even on an optical circuit pattern having a core interval of a narrow interval whose aspect ratio is 2 or more.

**SOLUTION:** In the optical waveguide which is composed of a substrate 10, a core 20 formed on the substrate 10 and a clad 30 formed so as to cover the core 20 and its manufacturing method, the core 20 is formed so that the cross section shape is rectangular and moreover at least one or more corner parts 40 are rounded.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-141950  
(P2001-141950A)

(43) 公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>G 0 2 B 6/122  
6/13

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テマコード\* (参考)

A 2 H 0 4 7  
M

審査請求 未請求 請求項の数18 OL (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-142316(P2000-142316)

(22) 出願日 平成12年5月10日 (2000.5.10)

(31) 優先権主張番号 特願平11-248966

(32) 優先日 平成11年9月2日 (1999.9.2)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72) 発明者 大久保 博行

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

(72) 発明者 岡野 広明

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

(74) 代理人 100068021

弁理士 絹谷 信雄

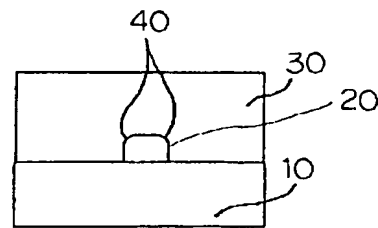
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 アスペクト比が2以上の狭間隙のコア間隔を有する光回路パターン上であっても特性良好なクラッド膜を形成できる光導波路及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 基板10と、その基板10上に形成されたコア20と、そのコア20を覆うように形成されたクラッド30とからなる光導波路及びその製造方法において、上記コア20の断面形状が矩形状でかつ少なくとも1か所以上の角部40が丸みを帯びるように形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、該基板上に形成されたコアと、該コアを覆うように形成されたクラッドとからなる光導波路において、上記コアの断面形状が矩形状でかつ少なくとも 1 か所以上の角部が丸みを帯びるように形成されていることを特徴とする光導波路。

【請求項 2】 基板と、該基板上に形成されたコアと、該コアを覆うように形成されたクラッドとからなる光導波路において、上記コアの断面形状が台形状でかつ少なくとも 1 か所以上の角部が丸みを帯びるように形成されていることを特徴とする光導波路。

【請求項 3】 基板と、該基板上に形成されたコアと、該コアを覆うように形成されたクラッドとからなる光導波路において、上記コアの断面形状は上底の幅に対して下底の幅が 1.5 倍以上の台形状に形成されていることを特徴とする光導波路。

【請求項 4】 基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより断面台形状のコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる光導波路の製造方法。

【請求項 5】 基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより断面矩形状でかつ少なくとも 1 か所以上の角部が丸みを帯びたコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる光導波路の製造方法。

【請求項 6】 基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより断面台形状でかつ少なくとも 1 か所以上の角部が丸みを帯びたコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる光導波路の製造方法。

【請求項 7】 基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより上底の幅に対して下底の幅が 1.5 倍以上の台形状のコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、

その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる光導波路の製造方法。

【請求項 8】 上記コア膜のフォトリソグラフィは、コア膜上にレジストをパターニングした後、該レジストに紫外線照射する請求項 4 から請求項 7 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 9】 上記エッチング方法として、ドライエッチング法によりコア膜を加工する請求項 4 から請求項 7 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 10】 上記ドライエッチング法として、プラズマドライエッチング法、スパッタエッチング法、あるいはイオンミリング法のうち、少なくとも 1 つ以上の方法によりコア膜を加工する請求項 9 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 11】 上記エッチング方法としてウェットエッチング法によりコア膜を加工する請求項 4 から請求項 7 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 12】 上記コア加工工程は、コア膜の加工後に熱処理することにより、少なくとも 1 か所以上のコア角部に丸みを帯びさせる請求項 5 又は請求項 6 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 13】 上記コア加工工程は、コア膜の加工後に該コアをフッ酸に浸漬させる方法により、少なくとも 1 か所以上のコア角部に丸みを帯びさせる請求項 5 又は請求項 6 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 14】 上記クラッド膜被覆工程は、火炎堆積法、スパッタリング法、又は化学的気相成長法のいずれか 1 つの方法を選択してクラッドを被覆する請求項 4 から請求項 7 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 15】 上記クラッド膜被覆工程は、化学的気相成長法のうち、プラズマ CVD 法を用い、基板側に強制的に自己バイアスを形成すべく、高周波電圧に直流電圧を重ねさせた電圧を印加させたプラズマ CVD 法によりクラッド膜を成膜する請求項 4 から請求項 7 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 16】 上記プラズマ CVD 法に用いる原料ガスの主原料は、SiH<sub>4</sub> 又はテトラエチルオルソシリケートである請求項 15 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 17】 上記クラッド膜を上下 2 層に分け、第 1 層目をテトラエチルオルソシリケート系原料ガスを用いたプラズマ CVD 法により成膜し、第 2 層目を SiH<sub>4</sub> 系原料ガスを用いたプラズマ CVD 法により成膜する請求項 15 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 18】 プラズマ CVD 法に用いる添加ガスは Ar、Kr、及び Xe の希ガスの中から少なくとも 1 種類以上用いる請求項 15 から請求項 17 記載の光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光を使った通信システム、計測システム、情報処理システム等の普及に伴い、より低損失で信頼性の高い光部品の開発が進められている。特に石英系材料を用いた導波路型の光部品は、その低損失性に加え、複雑な回路を平面基板上に一括して形成できる可能性があることから最も注目を集めている。

【0003】この導波路型光部品は、石英基板や、バッファ層（下側にクラッド層）と呼ばれる低屈折率層を有したSi基板や、同じくバッファ層を有した石英基板上に、屈折率の高いコアと呼ばれる光の伝搬領域を形成し、当該コアをそれより低屈折率のクラッド層で覆った構造をとるのが一般的である。

【0004】特にコア部分の材料組成は、光ファイバの低損失コア材料として実績のあるSiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>組成ガラスが有効とされている。ここで、コアに共添加する元素のTiはコアの屈折率を増加させる目的で添加されている。

【0005】このSiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>組成のコアを有する光導波路の製造方法の一例を図13、図14、及び図15を用いて説明する。

【0006】図13に示すように、石英基板1101上に、電子ビーム蒸着法によりTiO<sub>2</sub>ドーブSiO<sub>2</sub>からなるコアガラス膜を成膜した後、ドライエッチング加工によりコアガラス膜の不用な部分を除去して矩形のコア1102を形成する。そして、そのコア付き基板全体を高温で熱処理する。さらに、例えばプラズマ励起化学的気相成長法（Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition；以下、「P-CVD法」と称する。）により、コア1102上にノンドープのSiO<sub>2</sub>クラッド膜1103を形成することにより埋め込み型の光導波路を完成させる。ここで、ノンドープのSiO<sub>2</sub>クラッド膜1103とは、H以外の元素をドーブしないSiO<sub>2</sub>膜である。

【0007】次に、SiO<sub>2</sub>クラッド膜1103の形成工程について詳しく説明する。

【0008】まず、図15にP-CVD装置の概略図を示す。

【0009】図15に示すように、P-CVD装置は、大きく分けてチャンバ1001、ヒータ1002、及びチャンバ1001内にガスを導入するガス導入部1008、1009、1017、1018、1010、1011を含み、さらに13.56MHzのRF電源1003-1、マッチングボックス1003-2が接続された下部電極1004、基板1012が設置され、且つ基板1012に高周波を印加するための13.56MHzのRF電源1005-1、及びマッチングボックス1005

-2が接続された上部電極1006、チャンバ1001内に導入されたガスを排気する排気系1007-1、1007-2から成っている。

【0010】このP-CVD装置を用いてSiO<sub>2</sub>クラッド膜を形成するに際しては、原料ガスとして用いたSiH<sub>4</sub>の流量とO<sub>2</sub>の流量、希ガスとして用いたArの流量、成膜圧力、RFパワー、基板温度、電極間隔を最適化して、チャンバ1001内にプラズマ1019を生じさせ、基板1012上にSiO<sub>2</sub>膜の成膜を行う。その後、1200℃の熱処理を行うことにより、そのSiO<sub>2</sub>膜の屈折率を1.4580~1.4585とする。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来技術にあつては以下のような問題がある。

【0012】図14(a)、図14(b)は矩形コア上にP-CVD法によりクラッド膜を成膜・熱処理した時の状態を示した試料断面の模式図である。

【0013】図14(a)に示すように、P-CVD法を用いて、基板1201上に形成されたコア1202にそれを覆うようにクラッド膜を成膜する場合、図14

(b)に示すように、埋め込み特性が不十分なため、複数のコア1202が狭間隙のコア間隔（例えばアスペクト比が2以上）で形成されていると、それらのコア1202の間にボイド（空所）1200が形成されてしまい、コア1202がクラッド膜1203により完全には埋め込まれない。ここで、アスペクト比とはコア高さをコア間隔で除した値である。

【0014】すなわち、従来技術によりクラッド膜1203を成膜・熱処理した場合、コア間隔の狭い領域に、屈折率1.0のボイド1200が形成され、コア1202の屈折率の約1.4700あるいはクラッド1203の屈折率の1.458と大きな屈折率差を生じていた。このため、その屈折率差の大きな部分で光導波路を伝搬した伝搬光が散乱され、光損失が増大するという問題があった。

【0015】一方、これ以外の石英系の光導波路のクラッド膜の成膜方法としては、一般的には火炎堆積法が用いられている。

【0016】この火炎堆積法は2工程から成る。それらの工程を簡単に説明する。

【0017】第1の工程はSiCl<sub>4</sub>、PCl<sub>3</sub>、BCl<sub>3</sub>の原料ガスを酸水素パーナール中で分解し基板上にガラス微粒子膜を形成する工程であり、第2の工程はその微粒子膜が形成された基板ごとを焼結する工程である。

【0018】しかし、火炎堆積法では埋め込み特性が良好であるが、2つの大きな問題がある。

【0019】第1の問題とは、クラッド微粒子膜の焼結工程が1300℃以上の高温であるため基板の反りが増大してしまうこと、第2の問題は、SiO<sub>2</sub>以外にB、Pをドーブするためコア周辺にPの高濃度層が形成さ

れ、このPの高濃度層のために光の伝搬損失が増大してしまうということである。

【0020】よって、P-CVD法によっても、また火炎堆積法によっても、アスペクト比が2以上の狭間隔のコア間隔を有する光回路パターン上に、特性良好なクラッド膜を形成することが困難であった。

【0021】以上説明したように、従来技術の問題点は、コアが矩形でアスペクト比が2以上のコア間隔をP-CVD法により作製するSiO<sub>2</sub>クラッド膜で埋め込もうとする際、ボイドが形成されてしまうことである。

【0022】以下に、狭間隔のコア間隔がP-CVD法で成膜したSiO<sub>2</sub>クラッド膜で十分に埋め込まれない理由を説明する。

【0023】狭間隔のコア間隔にP-CVD法によりSiO<sub>2</sub>クラッド膜を成膜する場合、そのSiO<sub>2</sub>クラッド膜は下地の矩形コアパターンを忠実に転写しながら堆積していく。ところが、上述したように、アスペクト比が2以上のコア間隔ではRF電源で生成されたプラズマ中のイオン、ラジカルがランダムな動きをしているためにコア間隔の底部に届くイオン、ラジカルの量が少ない。さらに、狭いコア間隔のコア角部にコア底部より多くのイオン、ラジカルが到達してSiO<sub>2</sub>クラッド膜の成膜速度がコア底部よりはるかに速い(1桁以上)ために、コア角部にひさしが形成されてしまい、このひさしが、イオン、ラジカルがコア底部に届くのを妨げる。それによって、最終的には、コア間隔にボイドが形成されてしまうのである。

【0024】そこで、本発明の目的は、従来技術の課題を解決し、アスペクト比が2以上の狭間隔のコア間隔を有する光回路パターン上であっても特性良好なクラッド膜を形成できる光導波路及びその製造方法を提供することにある。

#### 【0025】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために請求項1の発明は、基板と、その基板上に形成されたコアと、そのコアを覆うように形成されたクラッドとからなる光導波路において、上記コアの断面形状が矩形でかつ少なくとも1か所以上の角部が丸みを帯びるように形成されているものである。

【0026】請求項2の発明は、基板と、その基板上に形成されたコアと、そのコアを覆うように形成されたクラッドとからなる光導波路において、上記コアの断面形状が台形状でかつ少なくとも1か所以上の角部が丸みを帯びるように形成されているものである。

【0027】請求項3の発明は、基板と、その基板上に形成されたコアと、そのコアを覆うように形成されたクラッドとからなる光導波路において、上記コアの断面形状は上底の幅に対して下底の幅が1.5倍以上の台形状に形成されているものである。

【0028】請求項4の発明は、基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより断面台形状のコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる方法である。

10 【0029】請求項5の発明は、基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより断面矩形でかつ少なくとも1か所以上の角部が丸みを帯びたコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる方法である。

20 【0030】請求項6の発明は、基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより断面台形状でかつ少なくとも1か所以上の角部が丸みを帯びたコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる方法である。

30 【0031】請求項7の発明は、基板上にコア膜を形成するコア膜形成工程と、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより上底の幅に対して下底の幅が1.5倍以上の台形状のコアに加工するコア加工工程と、そのコアが形成されたコア付き基板全体を熱処理する基板熱処理工程と、その基板上のコア全体にコアより低屈折率のクラッド膜を被覆するクラッド膜被覆工程と、そのクラッド膜が被覆されたクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理するクラッド膜熱処理工程とからなる方法である。

40 【0032】請求項8の発明は、上記コア膜のフォトリソグラフィは、コア膜上にレジストをパターニングした後、そのレジストに紫外線照射する方法である。

【0033】請求項9の発明は、上記エッチング方法として、ドライエッチング法によりコア膜を加工する方法である。

50 【0034】請求項10の発明は、上記ドライエッチング法として、プラズマドライエッチング法、スパッタエッチング法、あるいはイオンミリング法のうち、少なくとも1つ以上の方法によりコア膜を加工する方法である。

【0035】請求項11の発明は、上記エッチング方法としてウェットエッチング法によりコア膜を加工する方法である。

【0036】請求項12の発明は、上記コア加工工程は、コア膜の加工後に熱処理することにより、少なくとも1か所以上のコア角部に丸みを帯びさせる方法である。

【0037】請求項13の発明は、上記コア加工工程は、コア膜の加工後にそのコアをフッ酸に浸漬させる方法により、少なくとも1か所以上のコア角部に丸みを帯びさせる方法である。

【0038】請求項14の発明は、上記クラッド膜被覆工程は、火炎堆積法、スパッタリング法、又は化学的気相成長法のいずれか1つの方法を選択してクラッドを被覆する方法である。

【0039】請求項15の発明は、上記クラッド膜被覆工程は、化学的気相成長法のうち、プラズマCVD法を用い、基板側に強制的に自己バイアスを形成すべく、高周波電圧に直流電圧を重畳させた電圧を印加させたプラズマCVD法によりクラッド膜を成膜する方法である。

【0040】請求項16の発明は、上記プラズマCVD法に用いる原料ガスの主原料は、 $\text{SiH}_4$  又はテトラエチルオルソシリケートである方法である。

【0041】請求項17の発明は、上記クラッド膜を上下2層に分け、第1層目をテトラエチルオルソシリケート系原料ガスを用いたプラズマCVD法により成膜し、第2層目を $\text{SiH}_4$  系原料ガスを用いたプラズマCVD法により成膜する方法である。

【0042】請求項18の発明は、上記プラズマCVD法に用いる添加ガスは $\text{Ar}$ 、 $\text{Kr}$ 、及び $\text{Xe}$ の希ガスの中から少なくとも1種類以上用いる方法である。

【0043】すなわち、本発明は、コア断面形状の改良及びクラッド膜の成膜方法の改良を行ったものである。

【0044】手段その1として、コア断面形状を矩形形状あるいは台形状でかつコア角部に丸みを帯びた形状に形成するか、又はコア断面形状を矩形形状から台形状とし、上底の幅に対して下底の幅が1.5倍以上とすることにより、クラッド膜を成膜する時にコア角部に形成されるひさしがコア間隔を塞ぐまでにかかる時間を長くした。言い換えれば、コア間隔にできるひさしを形成しにくくした。

【0045】コア断面形状を矩形形状あるいは台形状のコア角部に丸みを帯びた形状に形成する方法及びコア断面形状を上底の幅に対して下底の幅が1.5倍以上の台形状に形成する方法としては、主にドライエッチング法あるいはウェットエッチング法などを用いる。

【0046】ここでは、特にドライエッチング法の中でもプラズマドライエッチング法を用いた。

【0047】一般的に、矩形形状のコアを形成する場合、石英基板に形成されたコア膜上に $\text{WSi}$ 膜を成膜し、そ

の上にフォトリソグラフィを行ってレジストパターンを形成した後、レジストパターンをマスクとして $\text{WSi}$ 膜をドライエッチング法でパターンニングし、パターンニングされた $\text{WSi}$ 膜をマスクとしてコア膜をドライエッチング法でパターンニングする。それによって、断面形状が矩形形状のコアが得られる。

【0048】本発明にあつては、 $\text{WSi}$ 膜を用いずに、コア膜を直接パターンニングする。すなわち、石英基板上のコア膜に直接フォトリソグラフィを行ってレジストパターンを形成した後、パターンニングされたレジストに紫外線を照射することによりレジストを硬化させ、レジストパターンをマスクとしてコア膜をドライエッチング法でパターンニングする。

【0049】コアを台形状に形成するドライエッチング法でプラズマドライエッチング法以外の方法としては、スパッタエッチング法あるいはイオンミリング法などがある。あるいはプラズマドライエッチング法とスパッタエッチング法とイオンミリング法のうち、2方法以上を組み合わせることでコアを台形状に形成することもできる。

【0050】手段その2として、クラッド膜の成膜方法を化学的気相成長法とし、その中でも特にプラズマ励起化学的気相成長法とした。

【0051】本プラズマ励起化学的気相成長法を行う際に用いたプラズマCVD装置は、平行平板型のプラズマCVD装置で、2つの電極両方にRF電源あるいはDC電源を印加することが可能な装置構成とした。

【0052】それによって、高周波電源あるいは直流電源を下部電極だけではなく上部電極にも印加することができ、基板側に積極的に自己バイアスを形成することによって、基板へのイオンの入射が促進され、コア間隔の底部へイオンが到達しやすくなった。それによって、コア底部における $\text{SiO}_2$ クラッド膜の成膜速度がコア角部と同程度とすることができ、ボイドがより形成されにくくなる。

【0053】手段その3として、プラズマCVD法に用いる主原料ガスを、 $\text{SiH}_4$ より表面拡散速度が大きいテトラエチルオルソシリケート(Tetra Ethel Ortho Silicate; TEOS)とした。

【0054】TEOSの分解過程ではエチル基が1つあるいは2つ切り離された中間体が生成されるが、その中間生成体の拡散速度が速いためにコアリッジ表面上から狭いコア間隔に中間生成体が拡散していき、コア底部における $\text{SiO}_2$ 膜の成膜速度が速められる。それによっても、コア間隔におけるボイドが形成されにくくなる。尚、アスペクト比が1以下の小さなコア間隔を埋め込む際には、プラズマCVD法に用いる主原料ガスを $\text{SiH}_4$ とすることもできる。

【0055】以上説明したように、コア断面形状を矩形形状あるいは台形状でかつコア角部に丸みを帯びた形状に形成すること、又はコア断面形状を矩形形状から上底の幅

に対して下底の幅が 1.5 倍以上の台形状に形成することにより、クラッド膜を成膜する時にコア角部に形成されるひさしがコア間隔を塞ぐまでにかかる時間を長くした。それによって、コア間隔をひさしで塞ぐ時間が約 2 倍以上となる。

【0056】本発明では、レジストパターンをマスクとしてコア膜をドライエッチング法でパターンニングするが、レジストとコア膜のエッチングレートの比が約 1:3 となるようなレジスト材料を選択し、紫外線照射を行った。よって、レジスト膜厚としては約  $2.0\mu\text{m}$  以上必要となる。それによって、コア膜をドライエッチングする間にレジスト端が目減りしていくために、結果的に出来上がりのコア断面形状は台形となる。

【0057】上記構成に加えて本発明では、クラッド膜の成膜方法を化学的気相成長法とし、その中でも特にプラズマ励起化学的気相成長法を用いた。本プラズマ励起化学的気相成長法を行う際に用いたプラズマ CVD 装置は、平行平板型のプラズマ CVD 装置で、2つの電極両方に RF 電源あるいは DC 電源を印加することが可能な装置構成とした。

【0058】この RF 電源としては、主に 13.56 MHz の高周波電源が用いられる。それによって、高周波電源あるいは直流電源を下部電極だけではなく上部電極にも印加することができ、基板側に積極的に自己バイアスを形成することによって、基板への  $\text{SiH}_3^+$ 、 $\text{O}_2^+$  等のプラスイオンの入射が促進され、コア間隔の底部へイオンが到達しやすくなった。それによって、コア底部における  $\text{SiO}_2$  クラッド膜の成膜速度がコア角部と同程度とすることができ、ボイドが形成されにくくすることができる。

【0059】上記構成に加えて本発明では、プラズマ CVD 法に用いる主原料ガスを、その分解種である中間生成体の表面拡散速度が大きいテトラエチルオルソシリケート (TEOS) とした。TEOS の分解過程ではエチル基が 1 つあるいは 2 つ切り離された中間体が生成されるが、その中間生成体の拡散速度が速いためにコアリッジ表面上から狭いコア間隔に中間生成体が拡散していき、コア底部における  $\text{SiO}_2$  クラッド膜の生成速度が速められる。それによっても、コア間隔にボイドが形成しにくくすることができる。

【0060】本発明を簡単にまとめると、1) 矩形あるいは台形状のコア断面形状のコア角部に丸みを帯びさせること、又はコア断面形状を矩形から上底の幅に対して下底の幅が 1.5 倍以上の台形状に形成することで実質的なアスペクト比を 2 から低下させることにより、P-CVD 法で作製した  $\text{SiO}_2$  クラッド膜のコア狭間隔部における埋め込み特性を向上させ、2) 高周波電源を下部電極だけではなく上部電極にも印加することで基板側にイオンの入射を促進することによりコア間隔の底部での  $\text{SiO}_2$  クラッド膜の成膜速度をコア角部と同程

度とし、3) P-CVD 法に用いる主原料ガスを、その分解種である中間生成体の表面拡散速度が大きい TEOS とすることにより、コア底部における  $\text{SiO}_2$  クラッド膜の成膜速度が速められる。

【0061】

【発明の実施の形態】次に、本発明の好適一実施の形態を添付図面に基づいて詳述する。

【0062】図 1 に本発明にかかる光導波路の断面図を示す。

10 【0063】図 1 に示すように、本発明にかかる光導波路は、石英基板 10 上に、 $\text{SiO}_2$  を主成分とするコア 20 が形成されており、さらにそのコア 20 を覆うようにノンドープの  $\text{SiO}_2$  からなる低屈折率のクラッド 30 が形成されている。

【0064】このコア 20 は、断面矩形状に形成されていると共に、少なくとも 1 か所以上の角部 40 が丸みを帯びるように形成されている。

【0065】また、図 2 に本発明の他の実施の形態を示す。

20 【0066】図 2 に示すように、この光導波路は、コア 60 の断面形状が、上底の幅に対して下底の幅が 1.5 倍未満の台形状に形成されている。

【0067】そして、図 1 のコアと同様に少なくとも 1 か所以上の角部 70 が丸みを帯びるように形成されている。

【0068】さらに、図 3 に本発明の他の実施の形態を示す。

30 【0069】図 3 に示すように、この光導波路は、コア 80 の断面形状が、上底の幅に対して下底の幅が 1.5 倍以上の台形状に形成されている。

【0070】またさらに、図 4 に本発明の他の実施の形態を示す。

【0071】図 4 に示すように、この光導波路は、石英基板 10 上に、コア 90 が狭間隔のコア間隔で 2 列に形成されたものである。

【0072】これらのコア 90 は、コア高さをコア間隔で除した値であるスペクト比が 2 以上である。

40 【0073】そして、それぞれのコア 90 は、断面形状が上底 90u の幅に対して下底 90d の幅が 1.5 倍以上の台形状に形成されている。

【0074】次に、これら図 1 から図 4 に示した光導波路の製造方法を作用と共に説明する。

【0075】本実施の形態では、図 1 から図 4 に示した光導波路の製造方法はドライエッチングの際のエッチング条件が異なるのみなので、図 2 に示した断面台形状のコア 60 を有する光導波路を製造する場合について説明する。また、コア膜の形成に際しては、電子ビーム蒸着法を用い、コア膜の加工に際しては、フォトリソグラフィ及びプラズマドライエッチングを用い、クラッド膜の形成に際しては P-CVD 法を用いる製造方法について

説明する。

【0076】以下、各工程を順に説明する。

【0077】まず、コア膜を形成するための装置として、電子ビーム蒸着法を実施するための電子ビーム蒸着装置を図7に示す。

【0078】図7に示すように、電子ビーム装置は、内部に石英基板204-1~204-3が収容されるチャンバ201と、コア及びクラッドの主成分となるSiO<sub>2</sub>のタブレット202-1, 202-2と、それらのタブレット202-1, 202-2に電圧を印加する電子ビーム装置207-1, 207-2と、チャンバ201内に酸化性ガスを導入すると共に必要により屈折率制御用添加物を添加するための酸化性ガス導入系203と、基板204-1~204-3を加熱するためのヒータ205-1~205-2と、チャンバ201内部のガスを排気するための排気系206とから主に構成されている。

【0079】タブレット202-1, 202-2は、SiO<sub>2</sub>を主成分、TiO<sub>2</sub>を屈折率制御用添加物として含んだ粉末をホットプレスにより固めてブロック状にしたものである。

【0080】尚、屈折率制御用添加物としては、TiO<sub>2</sub>の他にGeO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などを用いることができる。

【0081】この電子ビーム装置を用いて、電子ビーム蒸着法によるコア膜の形成方法について説明する。

【0082】まず、成膜直前に、チャンバ201内は高真空(10<sup>-5</sup>Pa程度)の状態になるように真空排気系206で排気し、成膜開始時には、チャンバ201内に酸化性ガス(例えばO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>Oなど)203を導入し、7×10<sup>-2</sup>~7×10<sup>-3</sup>Paになるように上記酸化性ガスの流量を調節する。

【0083】このような状態において、それぞれのタブレット202-1, 202-2に電圧を印加し、基板204-1~204-3上にガラス膜(コア膜)の形成を行う。そのタブレット202-1, 202-2は電子ビーム207-1, 207-2のビーム電流を調節することによって蒸発量及び蒸発速度が制御される。成膜速度は約100nm/minである。

【0084】上記成膜方法により、石英基板204-1~204-3上に膜厚: 6.0μm、屈折率: 1.4580のTiO<sub>2</sub>ドーブSiO<sub>2</sub>コア膜を成膜する。

【0085】そして、コア膜を形成した後、そのコア膜付き基板全体を高温で熱処理する工程は省略し、そのコア膜をフォトリソグラフィ及びエッチングにより図2に示したような断面形状のコア60に加工する工程に入る。

【0086】フォトリソグラフィは一般的なプロジェクションタイプの露光装置を用い、石英基板204-1~204-3上のコア膜に直接フォトリソグラフィを行っ

てレジストパターンを形成する。レジストとTiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>コア膜のエッチングレートの比、すなわち選択比が1:3であるため、膜厚6.0μmのコア膜をエッチングするために必要なレジスト膜厚は2.0μmとなる。本実施の形態ではプロセスマージンを1.0μmとして、レジスト膜厚は3.0μmに設定する。

【0087】そして、フォトリソグラフィした後、基板全体に紫外線を照射する。照射条件は波長: 248nm、照射の光量: 1~1000mW/cm<sup>2</sup>、照射時間を15minとする。

【0088】次に、コア膜をエッチングするための装置として、プラズマドライエッチング法を実施するためのプラズマドライエッチング装置を図8に示す。

【0089】図8に示すように、ドライエッチング装置は、フォトリソグラフィを行った試料基板311を収容するチャンバ301と、試料基板311上に電圧を印加するための上部電極304及び下部電極305と、試料基板311上に上部電極304を通してエッチングガスを吹きつけるべくガスを導入するガス導入部302と、チャンバ301内のガスを排気するガス排気部303と、試料基板311が設置される側の下部電極305に高周波を印加するための13.56MHzのRF電源306-1、及びこのRF電源306-1から効率的に高周波を送り込むためのマッチングボックス306-2とから主に構成されている。

【0090】上部電極304と下部電極305との間隔は60mm、上部電極304及び下部電極305の直径は約200mmである。

【0091】さらに、試料基板311が設置される側の下部電極305の内部に、下部電極冷却用の液体が循環するための液体循環管307があり、下部電極305の上部に、円形石英カバー310が設置され、その円形石英カバー310上に試料基板311が置かれるように構成されている。

【0092】また、上部電極304はその中に円形の孔がシャワー状に多数形成されており、エッチングガスはその孔を通してウエハ(試料基板311)に向かって上方から下方へ流れるように構成されている。

【0093】この装置構成において、従来技術と同様に、液体循環管307を流す液体として水308を、またエッチングガスとしてCHF<sub>3</sub>を用い、試料基板311としてSiO<sub>2</sub>ウエハ上の数μm~数10μmのガラス膜を微細加工する。

【0094】この図8のプラズマドライエッチング装置を用いて、ドライエッチング法によるコアの形成方法について説明する。

【0095】フォトリソグラフィによりレジストパターンが形成されたコア膜付き石英基板をプラズマドライエッチング装置内に導入し、レジストパターンをマスクとしてコア膜をドライエッチング法でパターンニングする。



【0096】エッチング条件を、 $\text{CHF}_3$  の流量：20  $\text{cm}^3/\text{min}$ 、エッチング圧力：2.5 Pa、基板温度200℃、下部電極305のRFパワー：200W、RFパワー密度：1.1  $\text{W}/\text{cm}^2$  となるように設定して、プラズマ312を生じさせ、エッチングを開始する。

【0097】本エッチング条件で200minエッチングした場合、エッチング深さが6.0  $\mu\text{m}$ 、エッチングレートは30  $\text{nm}/\text{min}$ であった。

【0098】このドライエッチング法によりエッチングされる断面台形状のコアのドライエッチング進行中の様子を図6(a)から図6(c)に示す。

【0099】図6(a)に示すように、基板401上のコア膜402の上に形成されたレジストパターン403eは、図6(b)に示すように、コア膜402をドライエッチングする間にレジスト端403eが目減りしていくために、図6(c)に示すように、結果的にできあがりのコア断面形状は台形状となる。

【0100】また、エッチングされるコアが断面矩形状のコアの場合には、図5(a)に示すように、基板401上に形成された断面矩形状のコア402のコア角部402cの角度はエッチング条件に強く依存することから、特に基板温度を低温にすればする程、図5(b)に示すようにコア角部402cのうち上部の2つの内角が大きくなり、また下底の上底に対する比率が大きくなる。このようなコアは図5(c)に示すようにクラッド膜403を形成した時にコア間隔にボイドが形成されない。

【0101】そして、このようにコア膜を加工した後、そのコア付き基板全体を高温で熱処理する。熱処理温度は1100℃、熱処理ガスは $\text{O}_2$ 、熱処理ガスの流量は1.5  $\text{l}/\text{min}$ 、熱処理時間は3.0hとする。

【0102】次に、基板上のコア全体に低屈折率膜のクラッド膜を被覆する方法を説明する。

【0103】クラッド膜の成膜方法は、化学的気相成長法の一つであるP-CVD法により成膜する。

【0104】図9に、P-CVD法を実施するためのP-CVD装置として平行平板型のP-CVD装置を示す。

【0105】図9に示すように、この平行平板型のP-CVD装置は、コアを形成した基板512を収容するチャンバ501と、基板512を加熱するためのヒータ502と、チャンバ501内にガスを導入するガス導入部508～511が接続された上部電極503と、高周波電圧を印加するための13.56MHzの高周波(RF)電源504-1、この高周波電源504-1から効率的に高周波を送り込むためのマッチングボックス504-2が接続された下部電極506と、チャンバ501内のガスを排気するロータリーポンプ507-1及びメカニカルブースターポンプ507-2とから主に構成さ

れている。

【0106】ガス導入系(部)508～511は、 $\text{SiO}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  ガスが容器508からガスライン509を通してチャンバ501内に導入され、 $\text{O}_2$  ガスが $\text{O}_2$  ガスボンベ510からガスライン511を通してチャンバ501内に導入されるように構成されている。さらに、これらのガスライン509、511は、 $\text{SiO}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  ガスと $\text{O}_2$  ガスの混合ガスが上部電極503中に形成されたシャワー状の多数のガス穴からチャンバ501内に導入されるように、上部電極503と接続されている。ここで、図示されていないが、ガス穴の直径は2～3mmである。また、下部電極506は、3～4インチ基板512を3枚設置することができるようになっている。

【0107】また、上部電極503と下部電極506との間隔は15～30mmの間で可変であり、本実施の形態では電極間隔を25mmとした。さらに、上部電極503及び下部電極506は円板状に形成されており、その直径はそれぞれ上部電極503が280mm、下部電極506が270mmである。

【0108】このP-CVD装置を用い、基板512として $\text{SiO}_2$  ウエハあるいは $\text{Si}$  ウエハを用いて、10  $\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$  クラッド膜の成膜を行う工程を説明する。

【0109】まず、チャンバ501内を真空引きして10<sup>-1</sup> Pa以下にする。次に、成膜条件を $\text{SiO}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  ガスの流量：5  $\text{cm}^3/\text{min}$ 、 $\text{O}_2$  ガスの流量：100  $\text{cm}^3/\text{min}$ 、成膜圧力：2.7 Pa、基板温度：350℃、下部電極506のRFパワー：750W、RFパワー密度：1.2  $\text{W}/\text{cm}^2$  となるように設定して、プラズマ513を生じさせ、成膜を開始する。本成膜条件で400min成膜した場合、as-depo(成膜直後)の $\text{SiO}_2$  クラッド膜の膜特性は以下ようになる。

【0110】クラッド膜の膜厚は10.0  $\mu\text{m}$ 、屈折率は1.4650である。尚、成膜速度は約25  $\text{nm}/\text{min}$ である。

【0111】最後に、そのクラッド膜付き基板全体を高温で熱処理する。熱処理温度は1100℃、熱処理ガスは $\text{O}_2$ 、熱処理ガスの流量は、1.5  $\text{l}/\text{min}$ 、熱処理時間は3.0hとする。

【0112】その結果、図4に示した光導波路のように、石英基板10上に2列に形成された台形状のコア90の周りに、ボイドを発生することなくクラッド30を形成することができる。

【0113】以上説明したように、アスペクト比が2以上で狭間隙のコアをクラッドで埋め込む場合、コアの断面形状を矩形状あるいは台形状のコア角部が丸みを帯びた形状に形成するか、又はコア断面形状を下底が上底の1.5倍以上の台形状に形成することにより、ボイドを

発生することなくコアをクラッドで埋め込むことができる。

【0114】さらに、本発明は、クラッド膜を形成する方法として、上下電極503にRF電源及びDC電源を接続したプラズマCVD装置を用い、原料ガスにTEOS、Ar等を用いることにより、よりボイドの発生を防止することができ、火炎堆積法のような石英基板の反りの増大及び光導波路の伝搬損失の増加を招くことがない。

【0115】また、上部電極503と下部電極506との距離を15〜30mmよりもさらに放すことにより、よりボイドが発生しにくくなる。

【0116】上述した本実施の形態では、クラッド膜をP-CVD法で成膜しているが、火炎堆積法あるいはスパッタリング法を用いて成膜することもできる。

【0117】クラッド膜をスパッタリング法を用いて成膜するスパッタ装置を、図10に示す。

【0118】図10において、601は真空容器、602は基板、603は基板ホルダ、604-1〜604-4はSiO<sub>2</sub> 焼結体ターゲット、605-1〜605-4はターゲット604-1〜604-4のそれぞれに電力を供給するためのRFの高周波電源、606はヒータである。

【0119】図10に示すように、基板602は、回転が可能な多面体形状を有した基板ホルダ603の外周側面に取り付けられ、これら基板602と対向する真空容器601の内壁にSiO<sub>2</sub> 焼結体ターゲット604-1〜604-4が設けられ、このターゲット604-1〜604-4にはそれぞれに電力を供給するためのRF高周波電源605-1〜605-4、及びこれらRF高周波電源605-1〜605-4より効率的に高周波を送り込むためのマッチングボックス606-1〜606-4が接続されている。尚、図示していないが、基板ホルダ603にもRFの高周波電源が接続されている。

【0120】このスパッタ装置を用いたクラッド膜の形成方法について説明する。

【0121】真空容器601内に設けられた基板ホルダ603の外周側面に石英基板602を取り付け、真空容器601内を $1 \times 10^{-5}$  Pa以下の真空度まで排気する。次に真空容器601内にスパッタガスであるArガスを $100 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 及び反応ガスであるO<sub>2</sub>ガスを $5 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 導入し、真空容器601内のガス圧力を0.3 Paに保持し、基板ホルダ603を回転させながら、焼結体ターゲット604-1〜604-4のそれぞれにRF高周波電源605-1〜605-4よりそれぞれ8.0 W/cm<sup>2</sup>の電力を供給し、基板側には1.7 W/cm<sup>2</sup>の電力を供給することにより成膜を行う。

【0122】ここで、同様にスパッタ法で導波路コア用のガラス膜を形成する場合は、厚さを、光ファイバとの

結合を考慮して光ファイバのコア径とほぼ等しい6〜10 μmに設定することが望ましい。また、製造コストを下げるため、多数枚の基板や大型の基板に均一に膜を形成する必要がある。このため、少なくとも2つ以上の焼結体ターゲット604-1〜604-4に同時にRF高周波電力を印加し、回転機構を有する基板ホルダ603に取り付けた基板602上にターゲット604-1〜604-4からスパッタされた材料を高速かつ均一に成膜することが望ましい。

【0123】また、本実施の形態では、原料ガスとしてTEOSを用いたP-CVD法でクラッド膜を成膜しているが、TEOS以外では例えばSiH<sub>4</sub>を用いてもクラッド膜を成膜することができる。

【0124】このSiH<sub>4</sub>を用いたP-CVD法によりSiO<sub>2</sub>膜を成膜するためのP-CVD装置を図11に示す。

【0125】図11に示すように、プラズマ励起化学気相成長装置は、大きく分けてチャンバ701、ヒータ702、チャンバ701内にガスを導入するガス導入部を含み、高周波を印加するための13.56 MHzのRF電源703-1、及びこのRF電源703-1から効率的に高周波を送り込むためのマッチングボックス703-2が接続された下部電極704、高周波を印加するための13.56 MHzのRF電源705-1、及びこのRF電源705-1から効率的に高周波を送り込むためのマッチングボックス705-2が接続され、且つ試料基板711が設置される上部電極706、チャンバ701内のガスを排気するロータリーポンプ707-1、メカニカルブースターポンプ707-2から成っている。

【0126】原料ガスは、下部電極704の真空側表面に形成された多数のガス穴から放出される。また、原料ガスはArで希釈したSiH<sub>4</sub>ガスボンベ708からのAr、SiH<sub>4</sub>ガスとO<sub>2</sub>ガスボンベ709からのO<sub>2</sub>ガスの混合ガスが真空中へ放出される。ここで、ガス穴の直径は2〜3 mmである。

【0127】上部電極706には3〜4インチ基板711を20〜30枚設置することができ、つり下げ棒712の軸を中心に回転させることができる。

【0128】上部電極706と下部電極704との間隔は30〜50 mmの間で可変であり、上下部電極間隔を35 mmとした。また、上部電極706及び下部電極704の直径は約700 mmである。

【0129】この装置を用いて、基板711として石英基板あるいはSi基板を用い、この基板711上に数μm〜数十μmのガラス膜（クラッド膜）の成膜を行う方法を説明する。

【0130】まず、チャンバ701内を真空引きして $10^{-1}$  Pa以下にする。次に、成膜条件をSiH<sub>4</sub>の流量： $60 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 、O<sub>2</sub>の流量： $80 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 、Arの流量： $1760 \text{ cm}^3 / \text{min}$ 、成膜圧

力：53Pa、基板温度：300℃、下部電極704のRFパワー：600W、上部電極706のRFパワー：600W、RFパワー密度：0.32W/cm<sup>2</sup>となるように設定して、プラズマ713を生じさせ、成膜開始する。

【0131】本成膜条件で120min成膜した場合、a-s-depo（成膜直後）のSiO<sub>2</sub>クラッド膜の膜特性は以下のようになる。

【0132】クラッド膜の膜厚は12.0μm、屈折率は1.4700、膜密度は2.0g/cm<sup>3</sup>である。尚、成膜速度は約100nm/minである。

【0133】また、本発明は上述した実施の形態に限定されない。

【0134】例えば、本実施の形態では、コア膜付き基板全体を高温で熱処理する工程を省略したが、この高温での熱処理工程を実施してもよい。但し、熱処理を実施した際、コア膜にクラックが入らないように弾力性を持たせる元素、例えばGeO<sub>2</sub>などをコア膜にドーピングする必要がある。

【0135】さらに、本実施の形態では、コア膜の加工方法は、プラズマドライエッチング法としたが、ウェットエッチング法を用いることもできる。

【0136】この場合、コア膜付きの石英基板上にレジストをスピンコートし、露光・現像した後、低濃度のフッ酸中にコア付き基板を浸水させることにより、コア断面形状を、矩形状あるいは台形状のコア角部に丸みを帯びさせた形状に形成することができる。さらに、フッ酸の濃度を最適化することにより、台形状コアの上底と下底の比率を1.5以上にすることができる。

【0137】さらに、他のコア膜の加工方法としては、スパッタエッチング法あるいはイオンミリング法を用いることができる。尚、本エッチング方法の詳細な説明は省略する。

【0138】またさらに、プラズマドライエッチング法でも基板温度を200℃よりも低温化すれば、コア断面形状の上底と下底の比率を大きくすることができる。プラズマドライエッチングする際の基板温度の制御方法の一例を図12に示す。

【0139】このプラズマドライエッチング装置は、図8に示したプラズマドライエッチングとほぼ同じ装置構成であるが、異なる箇所を説明する。

【0140】図12に示すように、円形石英カバーの中心部の3インチ石英ウエハが入るぐらいの円形の孔を設けたドーナツ状石英カバー810を用い、その孔の部分にSiO<sub>2</sub>ウエハ811を設置し、下部電極805に接続された液体循環管807内に流す液体として-40～20℃のメタノール808を用い、メタノール808とSiO<sub>2</sub>ウエハ811との間にHe（813）を循環させ、He（813）の漏洩を防止するためにOリング815を用いることにより、SiO<sub>2</sub>ウエハ811の裏面

814を冷却しながらエッチングを行う。

【0141】また、有機金属原料としてはTEOS（SiO（C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>）<sub>4</sub>）だけではなく、Si（OCH<sub>3</sub>）<sub>3</sub>、Si（OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>）<sub>3</sub>等も用いることができる。また、原料ガスとしてSiH<sub>4</sub>に限らず、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、Si<sub>3</sub>H<sub>8</sub>を用いることができる。

【0142】さらに、クラッド膜を2層に分け、第1層目をTEOS系原料ガスを用いたP-CVD法により成膜し、第2層目をSiH<sub>4</sub>系原料ガスを用いたP-CVD法により成膜することもできる。

【0143】また、有機金属材料をバブリングで蒸気化することもできる。その際、用いるガラスとしては、反応性がほとんどなく、そのイオンがスパッタ効果を有するAr、Kr、Xeなどの希ガスをを用いることができる。希ガスイオンのスパッタ効果を利用することにより、成膜と同時にスパッタエッチングを行うことができる。それによって、狭間隙のコア角部に形成されたひさしを希ガスイオンのスパッタでエッチングしながらSiO<sub>2</sub>クラッド膜の埋め込みが可能となる。

【0144】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば以下のような顕著な効果が発揮される。

【0145】1）アスペクト比が2以上の狭間隙のコア間隔のある光回路パターンのコア断面形状を、矩形状あるいは台形状のコア角部に丸みを帯びた形状に形成するか、又は下底が上底の1.5倍以上の台形状に形成し、上下電極にRF電源及びDC電源を接続したプラズマCVD装置を用い、原料ガスにTEOS、Ar等を用いることにより、コアをボイドなく特性良好なクラッド膜で埋め込むことができる。

【0146】2）火災堆積法を用いた場合の問題であった、1300℃以上の高温プロセスとB、Pのドーピングが必要なくなるため、石英基板の反りの増大及び伝搬損失の増加を招くことがない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態を示す光導波路の断面図である。

【図2】本発明の他の実施の形態を示す光導波路の断面図である。

【図3】本発明の他の実施の形態を示す光導波路の断面図である。

【図4】本発明の他の実施の形態を示す光導波路の断面図である。

【図5】本発明にかかる光導波路の製造方法を説明するための図であり、（a）～（c）は基板上に形成されるコアの断面図である。

【図6】本発明にかかる光導波路の製造方法を説明するための図であり、（a）～（c）は基板上に形成されるコアの断面図である。

【図7】本発明のコアの成膜装置であるEB蒸着装置の

模式図である。

【図 8】本発明のプラズマドライエッチング装置の模式図である。

【図 9】本発明の P-CVD 装置の模式図である。

【図 10】本発明の他の実施の形態を示すスパッタ装置の模式図である。

【図 11】本発明の他の実施の形態を示すクラッド成膜用のスパッタリング装置の模式図である。

【図 12】本発明の他の実施の形態を示す P-CVD 装置の模式図である。

【図 13】従来の光導波路の断面図である。

【図 14】従来の光導波路の製造方法によりクラッド膜が形成される様子を示した図であり、(a) は成膜中の状態を示す図であり、(b) は成膜後の状態を示す図である。

【図 15】従来の P-CVD 装置の模式図である。

【符号の説明】

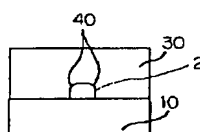
10 石英基板

20 コア

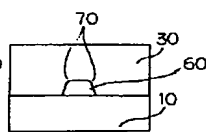
30 クラッド

10 40 角部

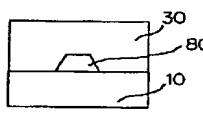
【図 1】



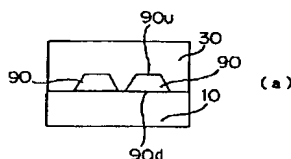
【図 2】



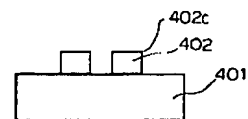
【図 3】



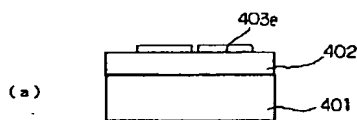
【図 4】



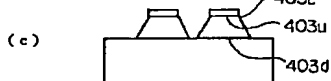
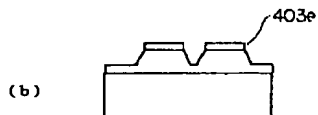
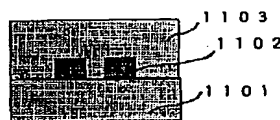
【図 5】



【図 6】



【図 13】

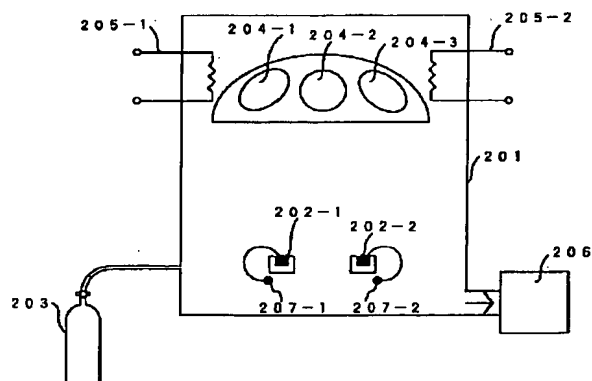


(a)

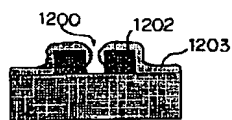
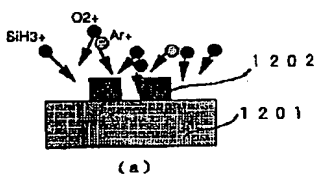
(b)

(c)

【図 7】

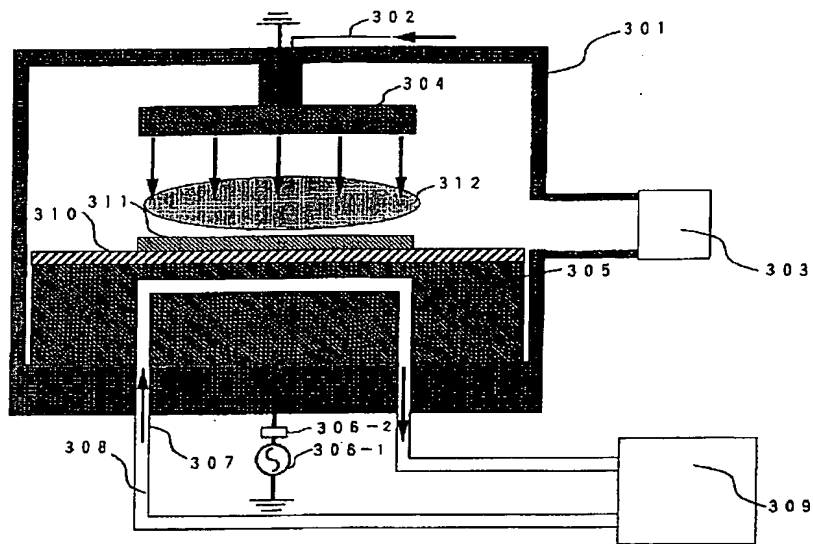


【図 14】

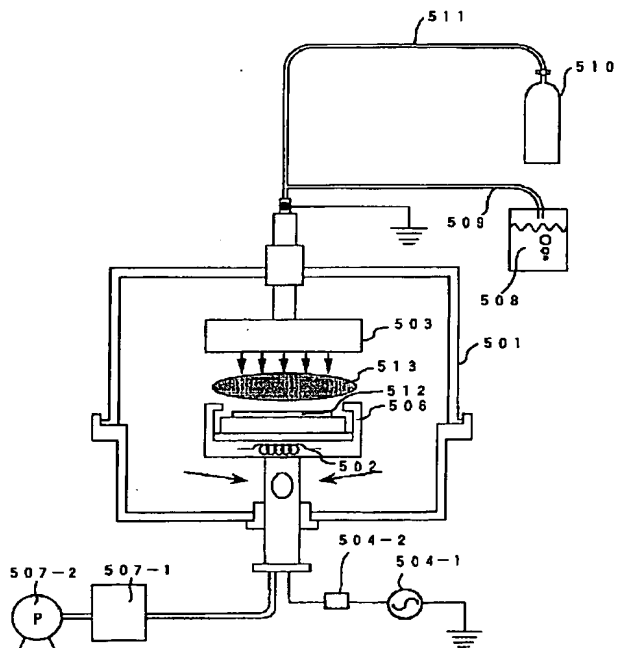


(b)

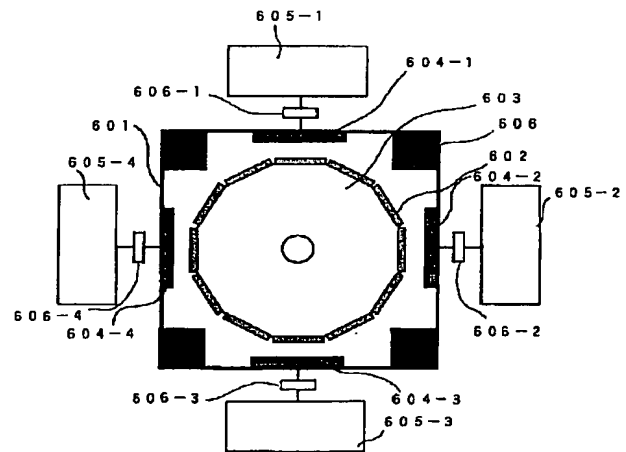
【図 8】



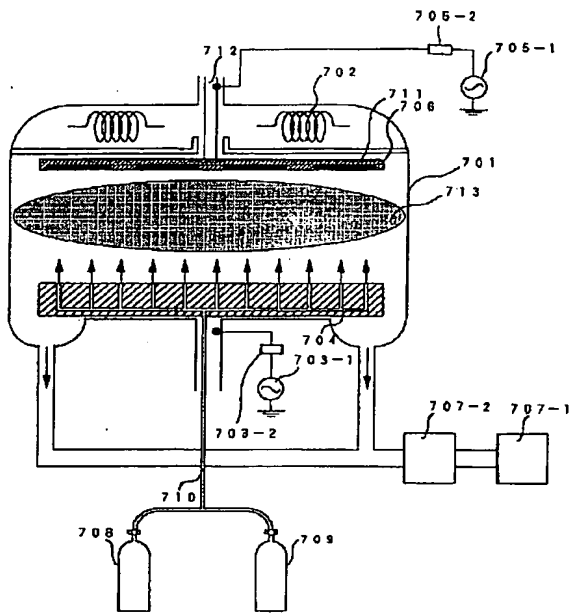
【図 9】



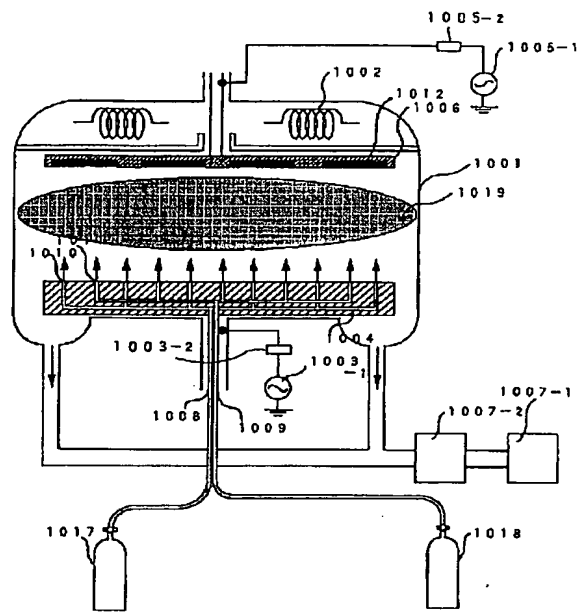
【図 10】



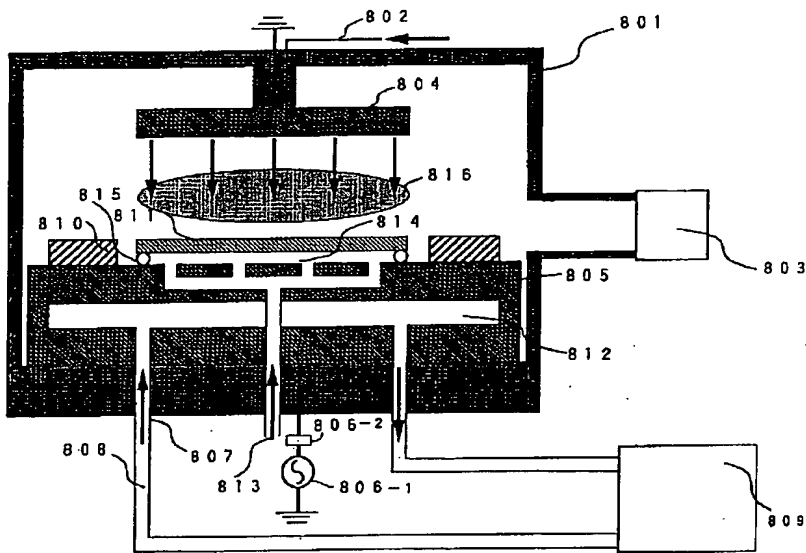
【図11】



【図15】



【図12】



フロントページの続き

(72) 発明者 榎村 誠一  
 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立  
 電線株式会社オプトロシステム研究所内

(72) 発明者 北野 延明  
 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立  
 電線株式会社オプトロシステム研究所内

F ターム(参考) 2H047 KA04 PA01 PA04 PA05 PA22  
PA24 TA31

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**